

Les ones gravitacionals, detectades cent anys després de la predicció d'Einstein

LIGO obre una nova finestra a l'univers amb l'observació de les ones gravitacionals procedents de la col·lisió de forats negres

El Grup de Relativitat i Gravitació de la Universitat de les Illes Balears és l'únic grup de recerca d'Espanya que participa en la Col·laboració Científica LIGO

Per primera vegada, els científics han observat ondulacions en el teixit de l'espai-temps, dites ones gravitacionals, que arriben a la Terra procedents d'un esdeveniment catastròfic en el distant univers. Això confirma una important predicció de la teoria de la relativitat general d'Albert Einstein de 1915 i obre una nova finestra sense precedents en el cosmos.

Les ones gravitacionals porten amb si informació sobre els seus dramàtics orígens i sobre la naturalesa de la gravetat que no pot obtenir-se d'una altra manera. Els físics han arribat a la conclusió que les ones gravitacionals detectades varen ser produïdes durant l'última fracció de segon de la fusió de dos forats negres per produir un sol forat negre més massiu en rotació. Aquesta col·lisió de dos forats negres havia estat predita però mai abans havia estat observada.

Les ones gravitacionals varen ser detectades el 14 de setembre de 2015 a les 5:51 hora d'estiu de l'est dels Estats Units (09:51 UTC) pels dos detectors bessons de l'Observatori per Interferometria Làser d'Ones Gravitacionals (LIGO, per les seves sigles en anglès), situats a Livingston, Louisiana, i Hanford, Washington, als Estats Units. Els observatoris LIGO estan finançats per la National Science Foundation (NSF), i varen ser concebuts i construïts i són operats per Caltech i el MIT. El descobriment, acceptat per publicar-lo a la revista *Physical Review Letters*, el va realitzar la Col·laboració Científica LIGO (que inclou la Col·laboració GEO600 i l'Australian Consortium for Interferometric Gravitational Astronomy) i la col·laboració Virgo usant dades dels dos detectors LIGO.

La UIB participa en la detecció directa de las primeres ones gravitacionals

El Grup de Relativitat i Gravitació (GRG) de la Universitat de les Illes Balears (UIB) és l'únic grup de recerca a Espanya que ha participat en aquest històric èxit científic a través de la Col·laboració Científica LIGO i GEO. La UIB participa en la Col·laboració Científica LIGO des de 2002, si bé la doctora Alícia Sintès, professora del Departament de Física, va ser una de les investigadores que va intervenir en la posada en marxa d'aquest grup de científics l'any 1997. La doctora Sintès i el doctor Sascha Husa, també professor de la UIB i membre del GRG, formen part del Consell de LIGO.

Alícia Sintès està emocionada. Ha dedicat gairebé vint anys a la caça d'aquestes elusives ones i ha treballat per millorar els detectors existents i futurs. Per a ella, el 14 de setembre quedarà marcat en la seva memòria com l'inici d'una nova era en astronomia: l'astronomia gravitacional. Una eina que ajudarà a desvelar molts misteris de l'univers.

Tots els membres de la Col·laboració LIGO a la UIB han treballat sense parar durant aquests últims mesos analitzant les dades del primer període d'observació d'Advanced LIGO i les dades relacionades amb aquest esdeveniment en particular. Diversos investigadors de la UIB han contribuït de forma directa a aquest descobriment. Entre ells hi ha Miquel Oliver, un estudiant de doctorat de la UIB, que ha tingut l'oportunitat única de viure directament aquest descobriment, ja que des de principis de setembre es trobava a la sala de control de LIGO a Hanford monitoritzant el detector i caracteritzant la qualitat de les dades. Al seu torn, el professor Sascha Husa, juntament amb l'investigador postdoctoral David Keitel i l'estudiant de doctorat Francisco Jiménez, ha contribuït directament a la identificació de la font a través de la seva recerca sobre la fusió de forats negres.

Amb la finalitat de destriar l'origen còsmic d'un senyal d'ona gravitacional, o per calcular les masses dels objectes implicats, cal resoldre les equacions d'Einstein, que són el nucli de la teoria de la relativitat general, i entendre com les propietats del senyal de les ones gravitacionals dependran de les propietats de la font a través dels possibles senyals.

| 2 |

Sascha Husa ho explica: «La idea bàsica és molt similar a la d'aplicacions de telèfons intel·ligents per identificar música, com Shazam. Si escoltes una cançó en un bar sorollós, l'aplicació pot consultar una base de dades de possibles senyals, i usant algorismes matemàtics per compensar el soroll, et dirà quin s'ajusta millor. El meu treball consisteix a fer un catàleg de tots els possibles senyals d'ones gravitacionals procedents de la fusió de forats negres, perquè els que analitzen les dades puguin comparar-los amb els senyals immersos en soroll que són registrats per LIGO».

El desenvolupament d'aquest tipus de catàlegs de cançons de forats negres ha estat el centre de la recerca de Sascha Husa durant la darrera dècada. Juntament amb els seus col·legues a la UIB, a la Universitat de Cardiff i a l'Institut Max Planck de Física Gravitacional de Potsdam, el doctor Husa ha desenvolupat models que no només descriuen la fusió de dos forats negres de forma precisa, sinó que les seves fórmules també poden calcular-se ràpidament amb els grans ordinadors utilitzats en l'anàlisi de les dades de LIGO. Aquesta rapidesa va ser essencial els últims mesos per identificar ràpidament l'origen del senyal. Algunes de les simulacions numèriques de la UIB sobre la col·lisió de forats negres han estat elaborades per l'estudiant de grau Rafel Jaume i algunes es poden veure al canal de Youtube Uib@grg. Un dels resultats clau calculats sobre la base dels càlculs del grup de la UIB és la potència radiada per la font: 300 masses solars per segon, més que qualsevol altre esdeveniment astronòmic mai observat des del Big Bang.

Per a Àlicia Sintès i els altres membres del grup, ara comença la fase més excitant de l'anàlisi de les dades de LIGO, just després que hagi finalitzat el primer període d'observació i els detectors s'estiguin actualitzant per poder tornar a operar a la tardor amb una millor sensibilitat. Juntament amb Miquel Oliver i amb l'ajuda tècnica de Pep Covas i Laura Keitel, estan cercant senyals continus procedents de púlsars desconeguts (estels de neutrons en rotació). Aquests senyals són tan febles que és necessari integrar totes les dades preses durant els quatre mesos per tenir alguna oportunitat de veure alguna cosa. Si aquesta anàlisi desvelés algun senyal, aquest ens aportaria informació sobre la matèria a l'interior dels estels de neutrons, un objecte de la grandària aproximada de Menorca i amb una massa un 50 per cent més gran que el nostre Sol, governat per les lleis de la teoria quàntica.

LIGO confirma una altra predicció més de la teoria de la relativitat general d'Einstein formulada fa cent anys i aporta la primera prova de la teoria en el marc de la gravitació forta

D'acord amb la relativitat general, una parella de forats negres orbitant un al voltant de l'altre perd energia mitjançant l'emissió d'ones gravitacionals, i produeix un acostament gradual entre tots dos durant milers de milions d'anys, i després molt més ràpidament en els últims minuts. Durant l'última fracció de segon, els dos forats negres xoquen entre si a gairebé la meitat de la velocitat de la llum, formen un únic forat negre més massiu i una part de la massa de tots dos es converteix en energia, d'acord amb la fórmula d'Einstein $E = mc^2$. Aquesta energia s'emet com una forta explosió final d'ones gravitacionals. Basant-se en la física del xoc entre dos forats negres, els científics de LIGO estimen que la massa dels forats negres d'aquest esdeveniment era 29 i 36 vegades més gran que la del Sol, i que l'esdeveniment va tenir lloc fa mil tres-cents milions d'anys. Una massa aproximadament tres vegades més gran que la del Sol es va convertir en ones gravitacionals en una fracció de segon, amb una potència de pic d'unes 50 vegades la de tot l'univers visible. Aquestes són les ones gravitacionals que LIGO ha observat.

El descobriment va ser possible gràcies a les capacitats millorades d'Advanced LIGO, una important actualització que augmenta la sensibilitat dels instruments en comparació amb els detectors LIGO de primera generació, la qual cosa permet un gran augment del volum de l'univers explorat i el descobriment de les ones gravitacionals durant el seu primer període d'observació. La National Science Foundation dels Estats Units lidera el suport financer a Advanced LIGO. Organismes de finançament a Alemanya (Societat Max Planck), el Regne Unit (Consell d'Infraestructures de Ciència i Tecnologia, STFC) i Austràlia (Consell Australià de Recerca) també han contribuït significativament al projecte. Diverses de les tecnologies clau que varen fer Advanced LIGO molt més sensible s'han desenvolupat i provat per la col·laboració britànic-alemanya GEO. El clúster Atlas de l'AEI Hannover, el Laboratori LIGO, la Universitat de Syracuse i la Universitat de Wisconsin a Milwaukee han aportat recursos informàtics de manera significativa. Diverses universitats han dissenyat, construït i provat components clau per a Advanced LIGO: la Universitat Nacional d'Austràlia, la Universitat d'Adelaide, la Universitat de

Florida, la Universitat de Stanford, la Universitat de Colúmbia a Nova York, i la Universitat Estatal de Louisiana.

En cada observatori, els interferòmetres LIGO de 4 quilòmetres de llarg en forma de L utilitzen llum làser separada en dos feixos que van i vénen dins els braços (tubs de més d'un metre de diàmetre guardats en un buit gairebé perfecte). Els feixos s'utilitzen per controlar la distància entre els miralls posicionats de forma molt precisa als extrems dels braços. D'acord amb la teoria d'Einstein, la distància entre els miralls canviarà una quantitat infinitesimal quan una ona gravitacional passi pel detector. Es pot detectar canvis en les longituds dels braços més petits que la deu mil·lèsima part del diàmetre d'un protó (10-19 metres). Són necessaris observatoris independents i àmpliament separats per determinar la direcció de l'esdeveniment que causa les ones gravitacionals, i també per verificar que els senyals procedeixen de l'espai i no són d'algun altre fenomen local.

La recerca a LIGO la duu a terme la Col·laboració Científica LIGO (LSC), un grup de més de 1000 científics d'universitats de tots els Estats Units i d'altres 14 països. Més de 90 universitats i instituts de recerca de la LSC desenvolupen tecnologia per al detector i analitzen dades; al voltant d'uns 250 estudiants contribueixen de forma rellevant a la col·laboració. La xarxa de detectors LSC inclou els interferòmetres de LIGO i el detector GEO600. L'equip de GEO inclou científics de l'Institut Max Planck de Física Gravitacional (Albert Einstein Institute, AEI), la Universitat Leibniz a Hannover, al costat de socis de la Universitat de Glasgow, Universitat de Cardiff, la Universitat de Birmingham, altres universitats del Regne Unit, i la Universitat de les Illes Balears a Espanya.

LIGO va ser originalment proposat com un mitjà per detectar aquestes ones gravitacionals els anys 1980 per Rainer Weiss, professor de Física, emèrit, del MIT; Kip Thorne, que ocupa la càtedra del professor Richard P. Feynman de Física Teòrica de Caltech, emèrit; i Ronald Drever, professor de Física, emèrit, també de Caltech.

La recerca a Virgo es duu a terme per la Col·laboració Científica Virgo, un grup de més de 250 físics i enginyers pertanyents a 19 laboratoris europeus diferents: 6 del Centre Nacional de Recerca Científica (CNRS) de França; 8 de l'Institut Nacional de Física Nuclear (INFN) a Itàlia; 2 de Nikhef als Països Baixos; l'Institut Wigner a Hongria; el grup POLGRAW a Polònia; i l'Observatori Gravitacional Europeu (EGO), el laboratori que alberga l'interferòmetre Virgo prop de Pisa, Itàlia.

El Grup de Relativitat i Gravitació <<http://www.grg.uib.es/>> és membre de l'Institut d'Aplicacions Computacionals de Codi Comunitari (IAC3, <<http://www.iac3.eu/>>) de la UIB i de l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC, <<http://www.ieec.cat/es/>>). Té el suport del Ministeri d'Economia i Competitivitat (FPA2013-41042-P), la Conselleria d'Educació, Cultura i Universitats del Govern de les Illes Balears, el Fons Social Europeu, el Fons Europeu de Desenvolupament Regional, la Xarxa Espanyola de Supercomputació i PRACE. A més, participa en el projecte



Consolider Ingenio Multidark (CSD2009-00064) i forma part de la xarxa Consolider: Centre Nacional de Física de Partícules, Astropartícules i Nuclear (CPAN-FPA2015-69037-REDC) i de les xarxes d'excel·lència: xarxa nacional d'astropartícules (RENATA- FPA2015-68783-REDT) i xarxa temàtica d'ones gravitacionals (REDONGRA - FPA2015-69815-REDT).

Per a més informació:

- Grup de Relativitat y Gravitació de la UIB:
<http://grg.uib.es/ligo>
- Servei de Comunicació, Promoció i Imatge
Direcció de l'Estratègia de Comunicació i Promoció Institucional
Universitat de les Illes Balears
Tel.: 971 17 34 74 / 971 17 25 51
<http://diari.uib.cat>
premsa.com@uib.cat